



**Europäisches
Patentamt**

**European
Patent Office**

**Office européen
des brevets**

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02425539.0

Der Präsident des Europäischen Patentamts:
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk



Anmeldung Nr:
Application no.: 02425539.0
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 30.08.02
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

STMicroelectronics S.r.l.
Via C. Olivetti, 2
20041 Agrate Brianza (Milano)
ITALIE
Nokia Corporation
Keilalahdentie 4
00045 Espoo
FINLANDE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se référer à la description.)

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s)
revendiquée(s)
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

G01P15/00

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR

PROCEDIMENTO PER LA FABBRICAZIONE DI UN SENSORE
INERZIALE CON SOGLIA DI ROTTURA

La presente invenzione si riferisce ad un procedi-
5 mento per la fabbricazione di un sensore inerziale con
soglia di rottura.

Come è noto, le moderne tecniche di microlavora-
zione dei semiconduttori possono essere vantaggiosamen-
te sfruttate per realizzare vari sensori estremamente
10 sensibili e precisi, oltre che di ingombro ridotto. I
cosiddetti sensori micro-elettro-meccanici, o sensori
MEMS (dall'inglese "Micro-Electro-Mechanical System"),
sono sensori integrabili in una piastrina semicondut-
trice e sono adatti a rilevare varie grandezze. In par-
15 ticolare, sono noti accelerometri MEMS a sbilanciamento
capacitivo sia lineari, sia rotazionali. In sintesi,
tali accelerometri sono normalmente provvisti di un
corpo fisso e di una massa mobile, entrambi conduttivi,
accoppiati capacitivamente. Inoltre, la capacità pre-
20 sente fra il corpo fisso e la massa mobile è variabile
e il suo valore dipende dalla posizione relativa della
massa mobile e del corpo fisso. Quando l'accelerometro
è sottoposto a una sollecitazione, la massa mobile si
sposta rispetto al corpo fisso e causa una variazione
25 della capacità di accoppiamento, che viene rilevata me-

diante un apposito circuito di lettura.

Come accennato in precedenza, gli accelerometri MEMS sono estremamente sensibili e precisi; tuttavia, essi non sono adatti a essere utilizzati in molte applicazioni, principalmente perché sono complessi da realizzare e il loro costo è molto elevato. Da un lato, infatti, i processi di fabbricazione richiedono l'esecuzione di numerose fasi non standard e/o l'impiego di substrati non standard (ad esempio, substrati SOI); dall'altro lato, occorre normalmente realizzare circuiti di lettura retroazionati basati su amplificatori di carica differenziali, il cui progetto comporta spesso delle difficoltà.

Inoltre, in molti casi non è richiesta la precisione dei sensori MEMS capacitivi e, anzi, non è neppure necessario disporre di una misura istantanea del valore di accelerazione. Al contrario, spesso occorre semplicemente verificare se un dispositivo incorporante l'accelerometro ha subito accelerazioni superiori a una soglia prefissata, normalmente a causa di un urto. Ad esempio, la maggior parte dei dispositivi elettronici di uso comune, quali i telefoni cellulari, sono protetti da una garanzia, che però decade se eventuali malfunzionamenti sono dovuti non a difetti di fabbricazione, ma a un urto conseguente a una caduta o comunque a

un uso non conforme alle istruzioni. A meno che non si riscontrino danni visibili, come segni sull'involucro o la rottura di alcune parti, è praticamente impossibile dimostrare che il dispositivo ha subito un trauma che
5 invalida la garanzia. D'altro canto, i dispositivi portatili, come appunto i telefoni cellulari, sono particolarmente esposti a cadute e conseguenti rotture, proprio per come vengono utilizzati.

Eventi di questo tipo potrebbero essere facilmente
10 rilevati da un sensore inerziale, che sia in grado di registrare accelerazioni superiori a una prefissata soglia. Tuttavia, l'impiego di accelerometri MEMS di tipo capacitivo in questi casi comporterebbe evidentemente costi eccessivi. Sarebbe quindi desiderabile disporre
15 di sensori realizzabili con tecniche di microlavorazione dei semiconduttori, quindi aventi ingombro paragonabile a quello dei sensori MEMS capacitivi, ma più semplici per quanto riguarda sia la struttura del sensore, sia il circuito di lettura. Inoltre, anche i processi di fabbricazione dovrebbero essere nell'insieme
20 semplici e poco costosi.

Scopo della presente invenzione è realizzare un procedimento per la fabbricazione di un sensore inerziale con soglia di rottura, che permetta di superare i
25 problemi descritti.

Secondo la presente invenzione viene realizzato un procedimento per la fabbricazione di un sensore inerziale con soglia di rottura, come definito nella rivendicazione 1.

5 Per una migliore comprensione dell'invenzione, ne vengono ora descritte alcune forme di realizzazione, a puro titolo di esempio non limitativo e con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

10 - le figure 1 e 2 sono sezioni trasversali attraverso una fetta semiconduttrice in successive fasi di fabbricazione in una prima forma di attuazione del procedimento secondo la presente invenzione;

- la figura 3 è una vista in pianta dall'alto della fetta di figura 2;

15 - la figura 4 mostra un particolare ingrandito della figura 3;

- la figura 5 è una sezione trasversale della fetta di figura 3 in una successiva fase di fabbricazione;

20 - la figura 6 è una vista in pianta dall'alto della fetta di figura 5;

- le figure 7 e 8 sono sezioni trasversali della fetta di figura 6 in una successiva fase di fabbricazione, prese lungo i piani di traccia VII-VII e, rispettivamente, VIII-VIII di figura 6;

25 - la figura 9 è una vista in pianta dall'alto del-

la fetta di figura 7, in una successiva fase di fabbricazione, in cui viene realizzato un sensore inerziale;

- le figure 10 e 11 sono sezioni trasversali della fetta di figura 9, prese lungo i piani di traccia X-X e, rispettivamente, XI-XI di figura 9;

- la figure 12 e 13 sono sezioni trasversali attraverso una fetta composita e, rispettivamente, un "die" realizzati a partire dalla fetta di figura 9;

- la figura 14 è una vista schematica di tre quarti dall'alto di un dispositivo incorporante il "die" di figura 13;

- la figura 15 mostra schematicamente un sensore inerziale del tipo delle figure 9-13 in configurazione operativa;

- la figura 16 è un particolare di un sensore inerziale realizzato secondo una variante della prima forma di attuazione del presente procedimento;

- la figura 17 è una vista in pianta dall'alto di un sensore inerziale realizzato secondo un'ulteriore variante della prima forma di attuazione del presente procedimento;

- la figura 18 è una sezione trasversale del sensore di figura 17;

- la figura 19 è una vista in pianta dall'alto di un sensore inerziale realizzato attraverso una seconda

forma di attuazione della presente invenzione;

- la figura 20 mostra un particolare ingrandito della figura 19;

- la figura 21 è una vista in pianta dall'alto di
5 un sensore inerziale realizzato attraverso una terza
forma di attuazione della presente invenzione;

- la figura 22 mostra un particolare ingrandito della figura 21;

- la figura 23 mostra schematicamente due sensori
10 inerziali del tipo di figura 21 in configurazione operativa;

- la figura 24 è una sezione trasversale attraverso una fetta semiconduttrice in una fase iniziale di fabbricazione di un procedimento secondo una quarta
15 forma di attuazione della presente invenzione;

- la figura 25 è una vista in pianta dall'alto della fetta di figura 24;

- la figura 26 mostra la fetta di figura 24 in una successiva fase di fabbricazione;

20 - la figura 27 è una vista in pianta dall'alto della fetta di figura 26 in una successiva fase di fabbricazione, in cui è realizzato un sensore inerziale;

- la figura 28 è una sezione trasversale attraverso la fetta di figura 27, presa secondo il piano di
25 traccia XXVI-XXVI di figura 27;

- la figura 29 è una vista in pianta particolare di un sensore inerziale realizzato secondo una quinta forma di attuazione della presente invenzione

- la figura 30 è una vista laterale del particolare di figura 29; e

- la figura 31 è una vista laterale del particolare di figura 29, realizzato secondo una variante della quinta forma di attuazione della presente invenzione.

Con riferimento alle figure 1-13, una fetta 1 di
10 materiale semiconduttore, ad esempio silicio monocristallino, comprende un substrato 2, sul quale viene cresciuto termicamente un sottile strato di ossido di pad 3, ad esempio spesso 2,5 μm . Uno strato conduttivo
5 di polisilicio, avente ad esempio spessore compreso fra 400 e 800 nm e drogaggio pari a 10^{19} atomi/ cm^3 , viene
15 poi deposto al di sopra dello strato di ossido di pad 3 e viene definito mediante un processo fotolitografico. Vengono così realizzati due campioni 6 a T, aventi rispettivi piedi 6a, reciprocamente allineati ed esten-
20 dentisi l'uno verso l'altro, e rispettivi bracci 6b fra loro paralleli (figure 2-4). I piedi 6a e i bracci 6b di ciascun campione 6 sono rivolti lungo direzioni individuate da un primo asse X e, rispettivamente, da un secondo asse Y ortogonali (un terzo asse Z, ortogonale
25 al primo e al secondo asse X, Y, è mostrato in figura

2). Inoltre, a rispettive estremità dei bracci 6b di entrambi i campioni 6 sono realizzate piazzole di ancoraggio 8, di forma sostanzialmente rettangolare e aventi larghezza maggiore rispetto ai bracci 6b stessi. Come mostrato in figura 4, ciascuno dei campioni 6 presenta una prima e una seconda regione di indebolimento 9, 10. In particolare, in entrambi i campioni 6, la prima e la seconda regione di indebolimento 9, 10 sono realizzate come restringimenti del piede 6a e, rispettivamente, di uno dei bracci 6b; inoltre, le regioni di indebolimento 9, 10 sono definite da intagli 11 con profilo circolare o poligonale, praticati in corrispondenza di una zona di giunzione 6c fra il piede 6a e i bracci 6b e attraversanti il campione 6 in direzione parallela al terzo asse Z. Lo spessore dello strato conduttivo 5 di polisilicio, le dimensioni dei piedi 6a e dei bracci 6b dei campioni 6 e la conformazione delle regioni di indebolimento 9, 10 determinano la resistenza meccanica alla rottura dei campioni 6 stessi. In particolare, intervenendo sulla forma e sulle dimensioni degli intagli 11 definenti la prima e la seconda regione di indebolimento 9, 10, è possibile ottenere prefissate soglie di rottura dei campioni 6 lungo il primo, il secondo e il terzo asse X, Y, Z; preferibilmente, tutte le soglie di rottura meccanica sono sostan-

zionalmente uguali.

In seguito, uno strato sacrificale 12 di ossido di silicio viene deposto in modo da ricoprire lo strato di ossido di pad 3 e i campioni 6; in pratica, lo strato di ossido di pad 3 e lo strato sacrificale 12 formano un'unica regione sacrificale in cui sono annegati i campioni 6. Lo strato sacrificale 12 viene poi definito mediante un processo fotolitografico comprendente due fasi di mascheratura. Durante una prima fase, nello strato sacrificale 12 vengono realizzate prime aperture 14 scoprenti rispettive estremità dei piedi 6b dei campioni 6, come illustrato in figura 5. In una seconda fase del processo fotolitografico (figura 6), vengono selettivamente attaccati sia lo strato sacrificale 12, sia lo strato di ossido di pad 3, in modo da realizzare seconde aperture 15 scoprenti porzioni del substrato 2.

Successivamente, sopra la fetta 1 viene cresciuto uno strato epitassiale 16 conduttivo, avente spessore, ad esempio, di 15 μm e drogaggio pari a 10^{18} atomi/ cm^3 . In dettaglio, lo strato epitassiale 16 ricopre interamente lo strato sacrificale 12 e, attraverso le prime e le seconde aperture 14, 15, si estende in profondità fino a raggiungere, rispettivamente, i campioni 6 e il substrato 2 (figure 7 e 8).

Lo strato epitassiale 16 viene poi selettivamente

attaccato, preferibilmente mediante attacco RIE ("Reactive Ion Etching"), e lo strato sacrificale 12 e lo strato di ossido di pad 3 vengono rimossi. Più in dettaglio, durante la fase di attacco dello strato epitassiale 16, vengono formati una massa mobile 18; ancoraggi 19, realizzati sopra alle porzioni del substrato 2 precedentemente scoperte dalle seconde aperture 15; una pluralità di molle 20, colleganti la massa mobile 18 agli ancoraggi 19; e una struttura di supporto 21 ad anello, che circonda la massa mobile 18, i campioni 6, le molle 20 e i relativi ancoraggi 19 (si veda la figura 9, in cui lo strato sacrificale 12 e lo strato di ossido di pad 3 sono già stati asportati).

La massa mobile 18 è collegata al substrato 2 mediante le molle 20, che sono a loro volta vincolate agli ancoraggi 19 (figura 11). Le molle 20, di per sé note, sono conformate in modo da permettere oscillazioni della massa mobile 18 rispetto al substrato 2 lungo ciascuno dei tre assi X, Y, Z, impedendo però rotazioni. La massa mobile 18 è inoltre vincolata al substrato 2 mediante i campioni 6. Più in dettaglio, la massa mobile 18 presenta, in una porzione mediana, una coppia di blocchi di ancoraggio 22, proiettantisi verso l'esterno in direzioni opposte lungo il secondo asse Y. I blocchi di ancoraggio 22 sono collegati all'estremità

del piede 6a di un rispettivo dei campioni 6, come mostrato in figura 10. A loro volta, i campioni 6 sono ancorati al substrato 2 tramite le piazzole di ancoraggio 8. Controllando la durata dell'attacco dello strato
5 sacrificale 12 e dello strato di ossido di pad 3, l'ossido di silicio viene infatti rimosso solo parzialmente al di sotto delle piazzole di ancoraggio 8, che sono più larghe rispetto ai piedi 6a e ai bracci 6b dei campioni 6; in questo modo, porzioni residue 3' dello
10 strato di ossido di pad 3, che non vengono attaccate, fissano le piazzole di ancoraggio 8 al substrato 2, fungendo da elementi di incollaggio.

Lo strato sacrificale 12 e le restanti porzioni dello strato di ossido di pad 3 vengono invece completamente asportate e, quindi, la massa mobile 18 e i
15 campioni 6 vengono liberati. In pratica, la massa mobile 18 è sospesa a distanza sul substrato 2 e può oscillare attorno a una posizione di riposo, in accordo con i gradi di libertà concessi dalle molle 20 (in particolare, può traslare lungo gli assi X, Y e Z). Anche i
20 campioni 6 sono elementi elastici che collegano la massa mobile 18 al substrato 2, analogamente alle molle 20. In particolare, i campioni sono conformati in modo da essere sottoposti a sforzo, quando la massa mobile
25 18 si trova al di fuori di una posizione relativa di

riposo rispetto al substrato 2; i campioni 6 sono però molto sottili e presentano punti preferenziali di rottura in corrispondenza delle regioni di indebolimento 9, 10. Per questa ragione, la loro resistenza meccanica alla rottura è molto inferiore a quella delle molle 20 e si rompono in modo controllato quando sono sottoposti a uno sforzo di prefissata intensità.

In pratica, a questo punto del procedimento, la massa mobile 18, il substrato 2, le molle 20 con gli ancoraggi 19 e i campioni 6 formano un sensore inerziale 24, il cui funzionamento verrà descritto in dettaglio più avanti.

Una struttura di incapsulamento 25 del sensore inerziale 24 viene poi applicata al di sopra della fetta 1, formando una fetta composita 26 (figura 12). In particolare, la struttura di incapsulamento 25 è un'ulteriore fetta semiconduttrice, nella quale è stato preventivamente ricavato un recesso 27, in una regione destinata a essere sovrapposta alla massa mobile 18. La struttura di incapsulamento 25 viene accoppiata alla struttura di supporto 21 ad anello, mediante l'interposizione di uno strato di saldatura 29. Quindi, la fetta composta 26 viene tagliata in una pluralità di "dice" 30, ciascuno comprendente un sensore inerziale 24 e un rispettivo cappuccio protettivo 31, formato dal

frazionamento della struttura di incapsulamento 25 (figura 13).

Il "die" 30 viene infine montato su un dispositivo 32, ad esempio un telefono cellulare; preferibilmente, 5 il dispositivo 32 è provvisto di un involucro 33, all'interno del quale il "die" 30 viene fissato, come mostrato in figura 14. Inoltre (figura 15), il sensore inerziale 24 è collegato a terminali di un circuito di test 35, che misura il valore di resistenza elettrica 10 fra tali terminali. Più in dettaglio, le piazzole 8 dei bracci 6b in cui sono formate le seconde regioni di indebnolimento 10 sono collegate ciascuna a un rispettivo terminale del circuito di test 35.

In condizioni normali, ossia quando il sensore 15 inerziale 24 è integro, i campioni 6 e la massa mobile 18 formano un percorso conduttivo che permette il passaggio di corrente fra una coppia qualsiasi di piazzole di ancoraggio 8. In pratica, il circuito di test 35 rileva bassi valori di resistenza elettrica fra le piazzole di ancoraggio 8. Durante il normale utilizzo, il 20 dispositivo 32 subisce modeste sollecitazioni, che causano lievi oscillazioni della massa mobile 18 attorno alla posizione di riposo, senza compromettere l'integrità del sensore inerziale 24.

25 Quando il dispositivo 32 subisce un urto, la massa

mobile 18 del sensore inerziale 24 viene bruscamente accelerata e sottopone a uno sforzo i campioni 6 e le molle 20. A seconda dell'intensità della sollecitazione trasmessa al sensore inerziale 24, tale sforzo può superare una delle soglie di rottura meccanica dei campioni 6, che quindi si spezzano. In particolare, la rottura si verifica in corrispondenza di una delle regioni di indebolimento 9, 10, che hanno la resistenza meccanica minima. In entrambi i casi, viene interrotto il percorso conduttivo fra le due piazzole 8 collegate al circuito di test 35, che quindi rileva un valore di resistenza elettrica elevato fra i propri terminali, permettendo così di riconoscere il verificarsi di eventi in grado di danneggiare il dispositivo 32.

Secondo una variante della forma di realizzazione descritta, a cui si riferisce la figura 16, vengono realizzati campioni 37 a T presentanti un'unica regione di indebolimento 38; in particolare, la regione di indebolimento 38 è un restringimento definito da una coppia di intagli 39 obliqui rispetto a un piede 37a e a bracci 37b dei campioni 37.

Secondo un'ulteriore variante, mostrata nelle figure 17 e 18, i due campioni 6 a T sono collocati in un'intercapedine 36 fra il substrato 2 e la massa mobile 18 e hanno le estremità dei rispettivi piedi 6a a

reciproco contatto. Inoltre, entrambi i campioni 6 sono fissati a un unico blocco di ancoraggio 22' disposto centralmente rispetto alla massa mobile 18 stessa.

Il procedimento secondo l'invenzione presenta i
5 seguenti vantaggi. In primo luogo, per fabbricare il sensore inerziale 24 vengono impiegate fasi standard della microelettronica. In particolare, vengono effettuate fasi di deposizione di strati di materiale sia isolante, sia conduttivo, processi fotolitografici, una
10 fase di crescita epitassiale e fasi standard di attacco del silicio epitassiale e degli strati isolanti; vantaggiosamente, viene eseguita una sola fase di ossidazione termica e quindi la fetta 1 viene sottoposta a modeste sollecitazioni durante la fabbricazione. La resa
15 del procedimento è perciò elevata. Inoltre, il sensore inerziale 24 viene realizzato a partire da un substrato standard, poco costoso.

Il procedimento descritto permette quindi di realizzare sensori inerziali con soglia di rottura a bas-
20 sissimo costo; tali sensori sono particolarmente adatti a essere utilizzati quando occorre registrare l'intervento di sollecitazioni dannose per un dispositivo in cui sono incorporati ed è superfluo fornire misure puntuali delle accelerazioni. Ad esempio, possono
25 essere vantaggiosamente impiegati per verificare la va-

lidità della garanzia nel caso di dispositivi elettronici di uso comune, quali, ad esempio, i telefoni cellulari.

Inoltre, i sensori inerziali realizzati con il
5 presente metodo hanno ingombro contenuto. Nei sensori inerziali, infatti, l'ingombro maggiore è generalmente dovuto alla massa mobile, che deve assicurare la precisione e la sensibilità richieste. In questo caso, invece, è sufficiente che, a fronte di una prefissata accelerazione, la massa mobile causi la rottura delle re-
10 gioni di indebolimento dei campioni, che hanno scarsa resistenza meccanica; è quindi evidente che anche la massa mobile può avere dimensioni contenute.

L'utilizzo di un unico punto di ancoraggio fra i
15 campioni e la massa mobile, come illustrato nella seconda variante di figura 17 e 18, ha un ulteriore vantaggio rispetto a quelli già evidenziati, perché permette di rilasciare più efficacemente gli stress dovuti a dilatazione dei materiali. In particolare, può acca-
20 dere che le parti di polisilicio anche solo parzialmente annegate nell'ossido di silicio (provini e porzioni dello strato epitassiale) siano sottoposte a compressione, in quanto, durante la fabbricazione, sia il polisilicio, sia l'ossido tendono a dilatarsi in direzio-
25 ni opposte. Quando l'ossido viene rimosso, viene elimi-

nata l'azione di compressione sul polisilicio, che quindi può espandersi. Chiaramente, la dilatazione maggiore in termini assoluti è quella della massa mobile, che ha dimensioni maggiori. L'impiego di un unico punto
5 di ancoraggio al posto di due ancoraggi distanziati permette di rilasciare in modo più efficace gli stress dovuti a tale espansione, in quanto la massa mobile può dilatarsi liberamente, senza modificare la situazione di carico dei campioni.

10 I sensori inerziali realizzati con il procedimento descritto sono ulteriormente vantaggiosi perché rispondono in modo sostanzialmente isotropo alle sollecitazioni meccaniche. In pratica, quindi un solo sensore inerziale è sufficiente a rilevare forze agenti lungo
15 qualsiasi direzione.

Una seconda forma di realizzazione dell'invenzione è illustrata nelle figure 19 e 20, in cui parti uguali a quelle già mostrate sono indicate con gli stessi numeri di riferimento. Secondo tale forma di realizzazione,
20 zione, viene fabbricato un sensore inerziale 40 dotato di campioni 41 conformati a L; come nel caso precedente, i campioni 41 vengono realizzati sagomando uno strato conduttivo di polisilicio deposto al di sopra di uno strato di ossido di pad (qui non mostrato), che è
25 stato a sua volta cresciuto su un substrato 42 di una

fetta semiconduttrice 43. Mediante fasi di processo analoghe a quelle già descritte, vengono successivamente realizzati la massa mobile 18, gli ancoraggi 19 e le molle 20.

5 In dettaglio, i campioni 41 hanno prime estremità collegate a rispettivi blocchi di ancoraggio 22 della massa mobile 18; e seconde estremità terminanti con rispettive piazzole di ancoraggio 41, fissate al substrato 2 come spiegato in precedenza. Inoltre, intagli 42
10 praticati in corrispondenza di rispettivi vertici 43 dei campioni 41 definiscono regioni di indebolimento 44 dei campioni 40 stessi.

Le figure 21 e 22 illustrano una terza forma di attuazione dell'invenzione, secondo la quale viene rea-
15 lizzato un sensore inerziale 50, realizzato su un substrato 54 e dotato di campioni 51 sostanzialmente rettilinei, estendentisi parallelamente al primo asse X. In questo caso, durante la fase di attacco RIE, oltre alla massa mobile 18, vengono realizzati due ancoraggi
20 52 e due molle 53, di tipo noto, colleganti la massa mobile 18 agli ancoraggi 52 e conformate in modo da impedire sostanzialmente la rotazione della massa mobile 18 stessa attorno al primo asse X.

I campioni 51 hanno prime estremità saldate a ri-
25 spettivi blocchi di ancoraggio 22 della massa mobile 18

e seconde estremità terminanti con piazzole di ancoraggio 55, realizzate come descritto in precedenza. Inoltre, coppie di opposti intagli 57 trasversali definiscono rispettive regioni di indebolimento 58 lungo i
5 campioni 51 (figura 22).

In alternativa, le regioni di indebolimento possono mancare.

Il sensore inerziale 50 risponde preferenzialmente a sollecitazioni orientate secondo un piano ortogonale
10 ai campioni 51, ossia il piano individuato dal secondo asse Y e dal terzo asse Z. In questo caso, per rilevare sollecitazioni in modo sostanzialmente isotropo, è possibile utilizzare due sensori 50 collegati in serie fra i terminali di un circuito di test 59 e ruotati di 90°
15 l'uno rispetto all'altro, come mostrato in figura 23.

Con riferimento alle figure 24-28, secondo una quarta forma di realizzazione dell'invenzione, sopra una fetta semiconduttrice 60, avente un substrato 61, viene cresciuto uno strato di ossido di pad 62; quindi,
20 uno strato conduttivo 63 di silicio policristallino (qui indicato con linea a tratteggio) viene depositato sullo strato di ossido di pad 61 e viene definito in modo da formare un campione 64, sostanzialmente rettilineo ed estendentesi parallelamente al primo asse X
25 (figura 25). Il campione 64 ha una piazzola di ancorag-

gio 65, ad una propria estremità, e presenta centralmente una regione di indebolimento 66 definita da una coppia di intagli 67.

Uno strato sacrificale 69 di ossido di silicio
5 viene deposto in modo da ricoprire l'intera fetta 60 e poi selettivamente asportato per formare un'apertura 68 in corrispondenza di un'estremità del campione 64 opposta alla piazzola di ancoraggio 65.

Viene quindi cresciuto uno strato epitassiale 70
10 (figura 26), che viene attaccato in modo da formare una massa mobile 71, ancoraggi 72, molle 73 e un anello di supporto, per comodità non mostrato; lo strato sacrificale 69 e lo strato di ossido di pad 62 vengono rimossi, ad eccezione di una porzione residua 62' dello
15 strato di ossido di pad 62 sottostante la piazzola di ancoraggio 65 (figure 27 e 28). La massa mobile 71 e il campione vengono così liberati. Più precisamente, la
20 massa mobile 71, avente centralmente un'apertura passante 74 al di sopra del campione 64, è vincolata al substrato 61 attraverso gli ancoraggi 72 e le molle 73, che sono conformate in modo da impedire traslazioni e rotazioni secondo il primo asse X. Inoltre, il campione
25 65 ha opposte estremità rispettivamente collegate al substrato 2, attraverso la piazzola di ancoraggio 65, e alla massa mobile 71 ed è diposto in un'intercapedine

76 compresa fra la massa mobile 71 e il substrato 61.

In questo modo, viene realizzato un sensore inerziale 80, che viene poi incapsulato mediante fasi analoghe a quelle descritte con riferimento alle figure 12
5 e 13.

Anche in questo caso, l'utilizzo di un unico punto di ancoraggio fra il campione e la massa mobile permette vantaggiosamente di rilasciare in modo efficace gli stress dovuti a dilatazione della massa mobile.

10 Secondo una variante non illustrata, il campione è conformato a T, come quelli mostrati in figura 9.

La figura 29 mostra un particolare di un campione 81, ad esempio rettilineo, di un sensore inerziale realizzato utilizzando una quinta forma di attuazione del
15 procedimento secondo l'invenzione. In particolare, il campione 81 presenta una regione di indebolimento definita da una scanalatura trasversale 82 estendentesi fra lati opposti 83 del campione 81 stesso.

La scanalatura 82 viene realizzata mediante attacco mascherato a durata controllata del campione 81 (fi-
20 gura 30).

In alternativa (figura 31), viene depositato e definito un primo strato 85 di polisilicio; vengono poi formati uno strato di arresto 86 di ossido di silicio e
25 un secondo strato 87 di polisilicio; infine viene sca-

vata una scanalatura 82' attaccando il secondo strato 87 di polisilicio fino allo strato di arresto 86.

Risulta infine evidente che al procedimento descritto possono essere apportate modifiche e varianti, senza uscire dall'ambito della presente invenzione. In particolare, le regioni di indebolimento possono essere definite utilizzando contemporaneamente intagli laterali dei campioni e scanalature estendentisi fra gli intagli laterali. Inoltre, le regioni di indebolimento potrebbero essere definite da aperture passanti attraversanti i campioni anzichè da intagli laterali.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento per la fabbricazione di un sensore inerziale con soglia di rottura, comprendente le fasi di:

5 - formare, al di sopra di un substrato (2; 42; 61) di una fetta semiconduttrice (1; 43; 60), almeno un elemento campione (6; 40; 51; 64; 81; 81') annegato in una regione sacrificale (3, 12; 62, 69);

 - formare, al di sopra di detta regione sacrificale (3, 12; 62, 69), un corpo (18; 71) collegato a detto
10 elemento campione (6; 40; 51; 64; 81; 81'); e

 - attaccare detta regione sacrificale (3, 12; 62, 69), in modo da liberare detto corpo (18; 71) e detto elemento campione (6; 40; 51; 64; 81; 81').

15 2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui la fase di formare detto elemento campione (6; 40; 51; 64; 81; 81') comprende:

 - formare un primo strato (3; 62) di un primo materiale, ricoprente detto substrato (2; 61);

20 - formare un secondo strato (5; 63) di un secondo materiale, ricoprente detto primo strato (3; 62);

 - sagomare detto secondo strato (5; 63), in modo da definire detto elemento campione (6; 40; 51; 64; 81; 81'); e

25 - formare un terzo strato (12; 69) di detto primo

materiale ricoprente detto primo strato (3; 62) e detto elemento campione (6; 40; 51; 64; 81; 81').

3. Procedimento secondo la rivendicazione 2, in cui detto primo materiale è un materiale dielettrico e
5 detto secondo materiale è un materiale conduttivo.

4. Procedimento secondo la rivendicazione 3, in cui detto primo materiale è ossido di silicio e detto secondo materiale è polisilicio.

5. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la fase di formare almeno
10 un elemento campione (6; 40; 51; 64; 81; 81') comprende la fase di realizzare almeno una regione di indebolimento (9, 10; 38; 42; 58; 66; 82; 82') di detto elemento campione (6; 40; 51; 64; 81; 81').

15 6. Procedimento secondo la rivendicazione 5, in cui la fase di realizzare almeno una regione di indebolimento (9, 10; 38; 42; 58; 66) comprende la fase di definire un restringimento di detto elemento campione (6; 40; 51; 64).

20 7. Procedimento secondo la rivendicazione 6, in cui detta fase di definire un restringimento comprende formare intagli (11; 39; 42; 57; 67) in detto elemento campione (6; 40; 51; 64)

25 8. Procedimento secondo la rivendicazione 5, in cui la fase di realizzare almeno una regione di indebo-

limento (82; 82') comprende realizzare una scanalatura estendentesi fra bordi opposti (83) di detto elemento campione (81; 81').

5 9. Procedimento secondo la rivendicazione 8, in cui la fase di realizzare una scanalatura comprende eseguire un attacco a durata controllata di detto elemento campione (81; 81').

10 10. Procedimento secondo la rivendicazione 8, in cui la fase di realizzare una scanalatura comprende:

 - formare uno strato di arresto (86) all'interno di detto elemento campione (81'); e

 - attaccare detto elemento campione (81') fino a raggiungere detto elemento di arresto (86).

15 11. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la fase di formare almeno un elemento campione (6; 40; 51; 64; 81; 81') comprende definire almeno una piazzola di ancoraggio (8; 41; 55; 65) di detto elemento campione (6; 40; 51; 64; 81; 81').

20 12. Procedimento secondo la rivendicazione 11, in cui la fase di attaccare detta regione sacrificale (3, 12; 62, 69) viene interrotta prima di rimuovere porzioni residue (3'; 62') di detta regione sacrificale (3, 12; 62, 69) sottostanti detta piazzola di ancoraggio
25 (8; 41; 55; 65).

13. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui prima di eseguire la fase di formare detto corpo (18; 71), attraverso detta regione sacrificale (3, 12; 62, 69) vengono realizzate
5 almeno una prima apertura (14; 68), scoprente un'estremità di detto elemento campione (6), e seconde aperture (15) scoprenti rispettive porzioni di detto substrato (2).

14. Procedimento secondo la rivendicazione 13, in
10 cui la fase di formare detto corpo (18; 71) comprende:

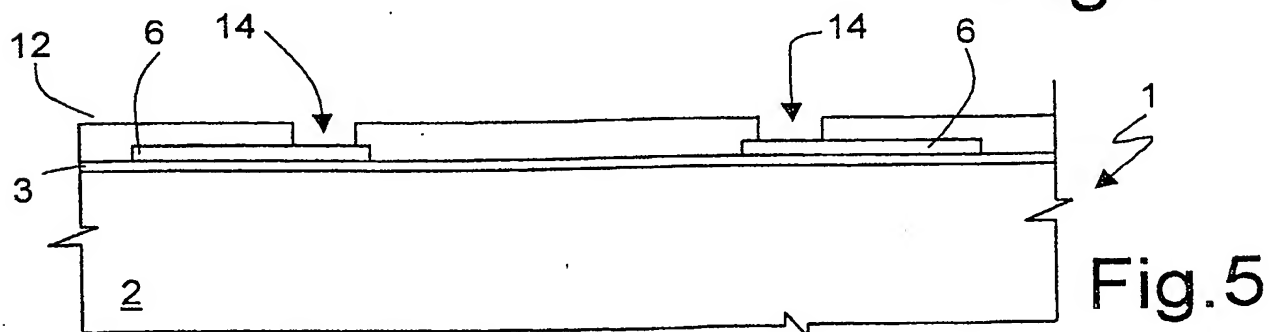
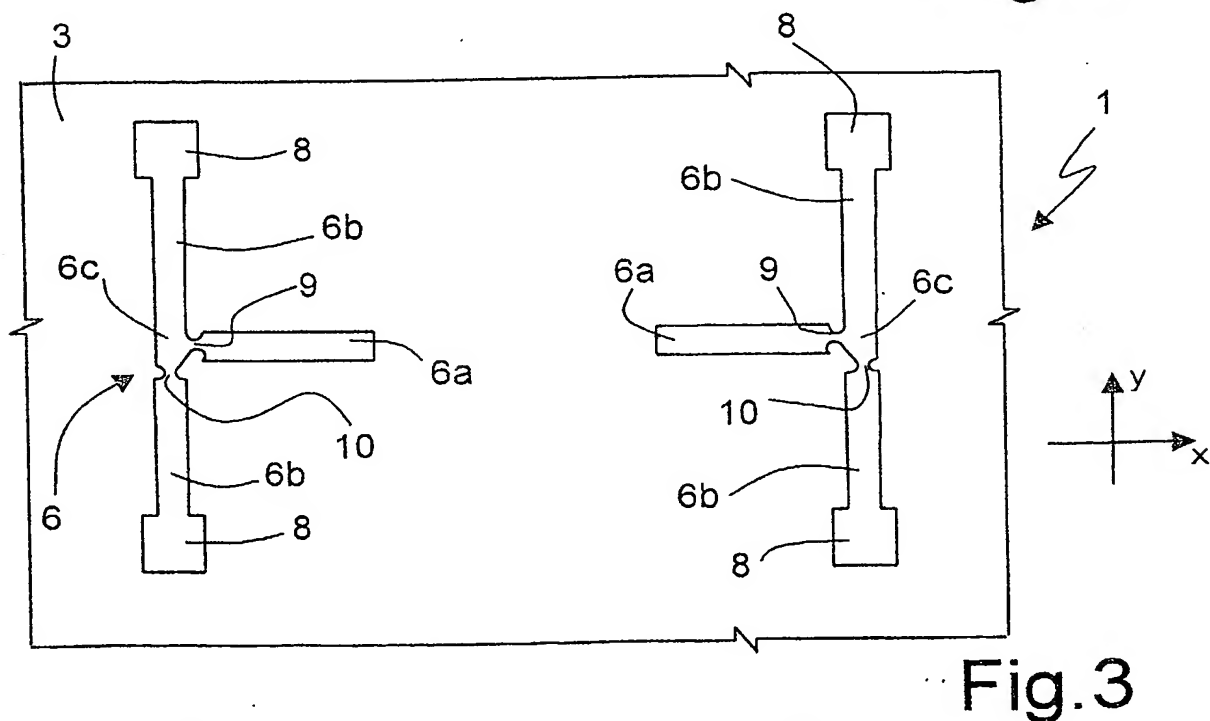
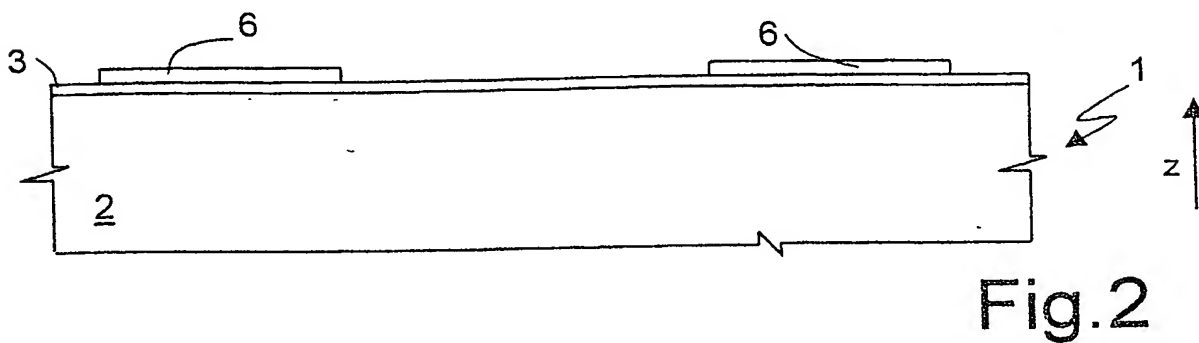
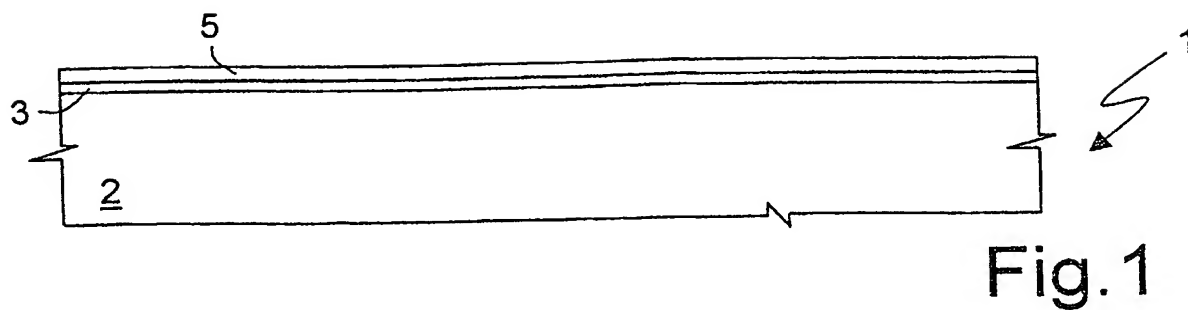
- crescere uno strato epitassiale (16; 70), estendentesi al di sopra di detta regione sacrificale (3, 12; 62, 69) e attraverso detta prima apertura (14; 68) e dette seconde aperture (15); e
- 15 - attaccare detto strato epitassiale (16; 70) fino a raggiungere detta regione sacrificale (3, 12; 62, 69).

15. Procedimento secondo la rivendicazione 14, in cui, durante la fase di attaccare detto strato epitassiale (16; 70) vengono definiti ancoraggi (19; 52; 72)
20 connessi a detto substrato (2; 42; 61) ed elementi elastici (20; 53; 73) colleganti detto corpo (18; 71) a detti ancoraggi (19; 52; 72).

RIASSUNTO

Procedimento per la fabbricazione di un sensore
5 inerziale con soglia di rottura, includente le fasi
di: formare, al di sopra di un substrato (2) di una
fetta semiconduttrice (1), almeno un elemento campione
(6) annegato in una regione sacrificale (3, 12); forma-
re, al di sopra della regione sacrificale (3, 12), un
10 corpo (18) collegato all'elemento campione (6); e at-
taccare la regione sacrificale (3, 12), in modo da li-
berare il corpo (18) e l'elemento campione (6).

15 Figg. 7, 13



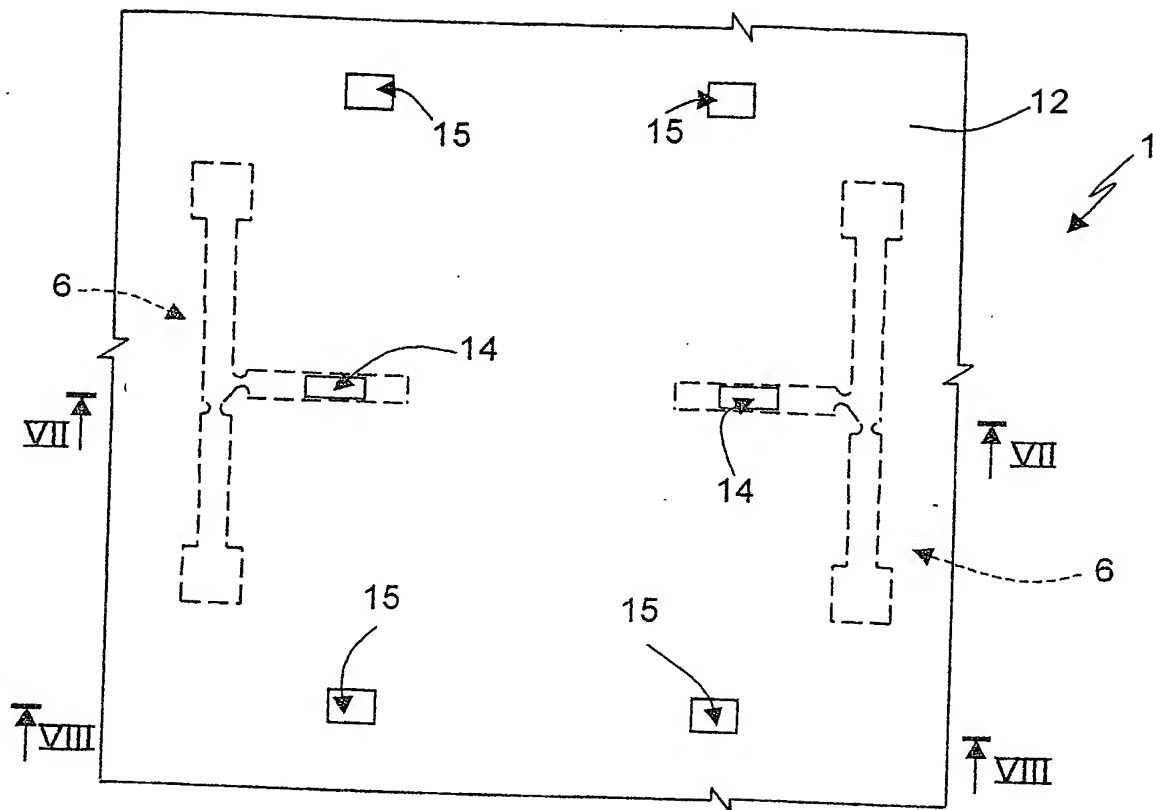


Fig. 6

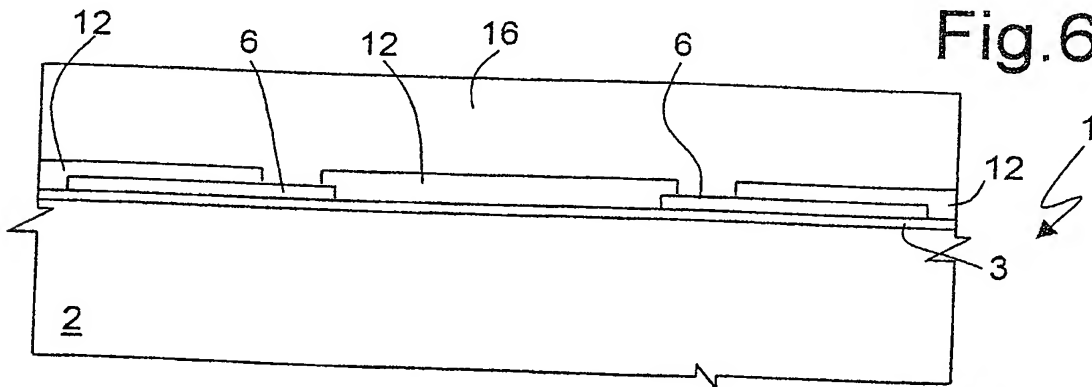


Fig. 7

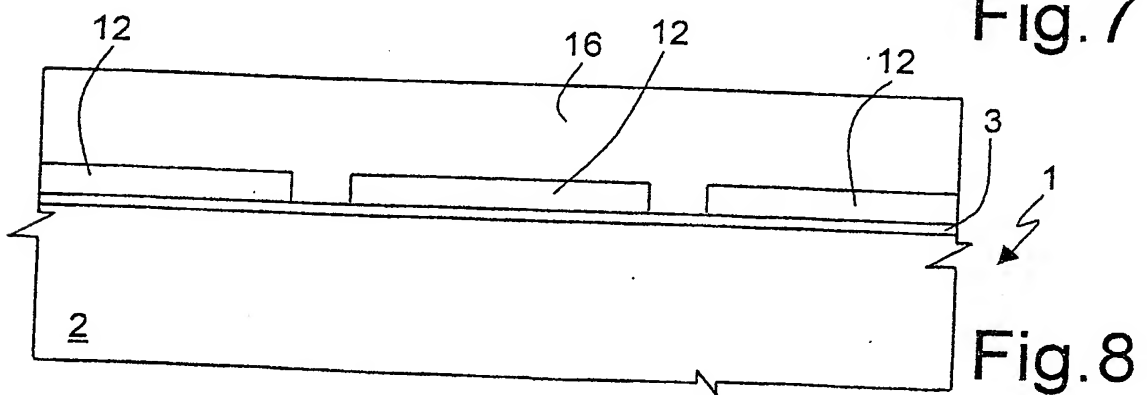


Fig. 8

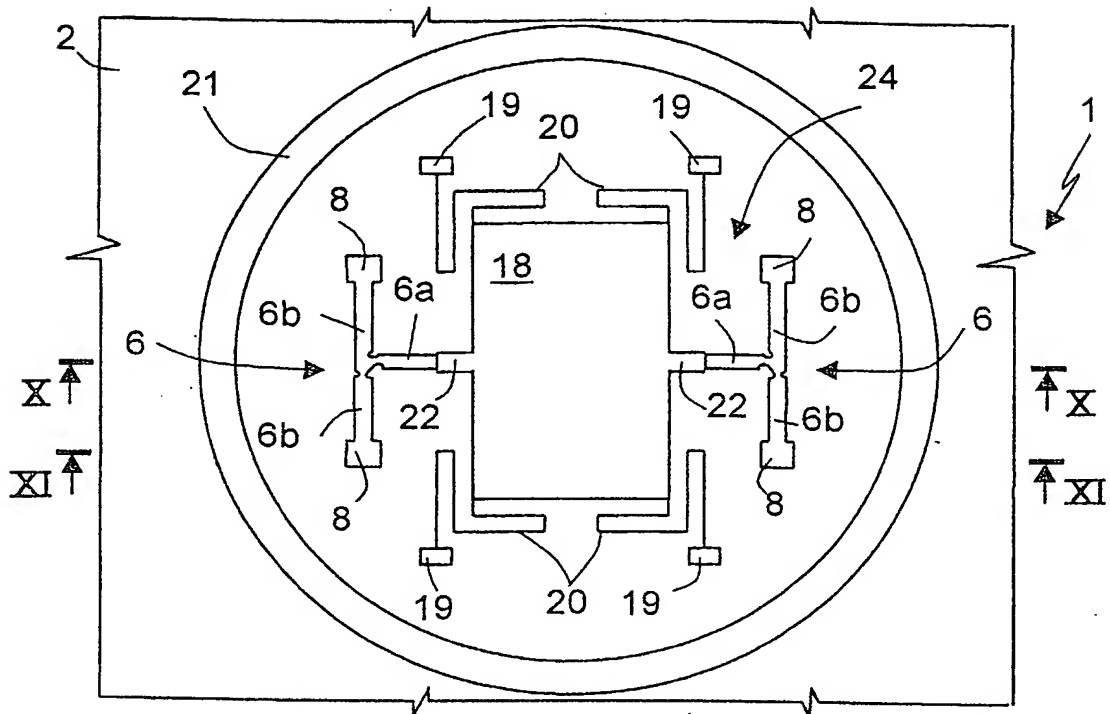


Fig. 9

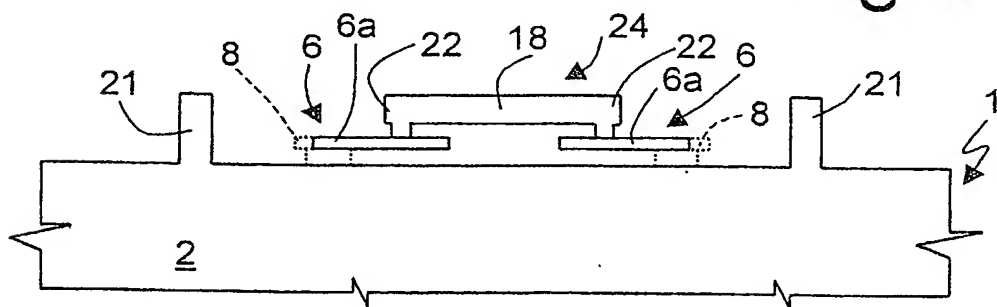


Fig. 10

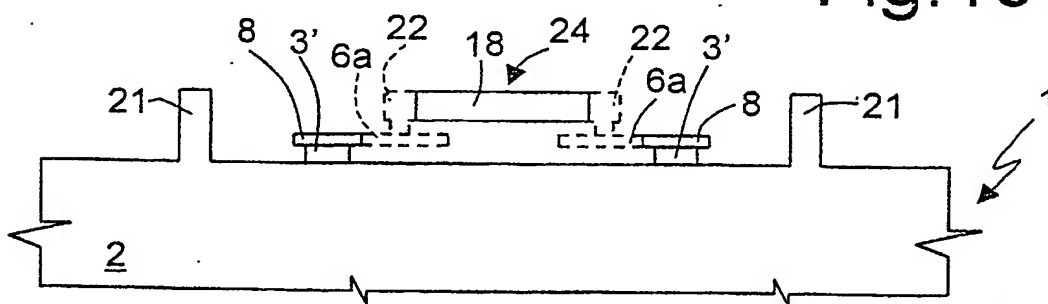


Fig. 11

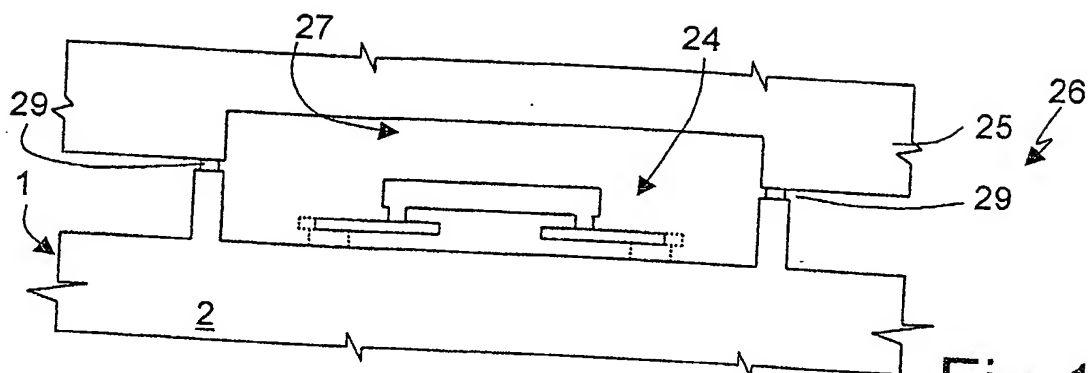


Fig. 12

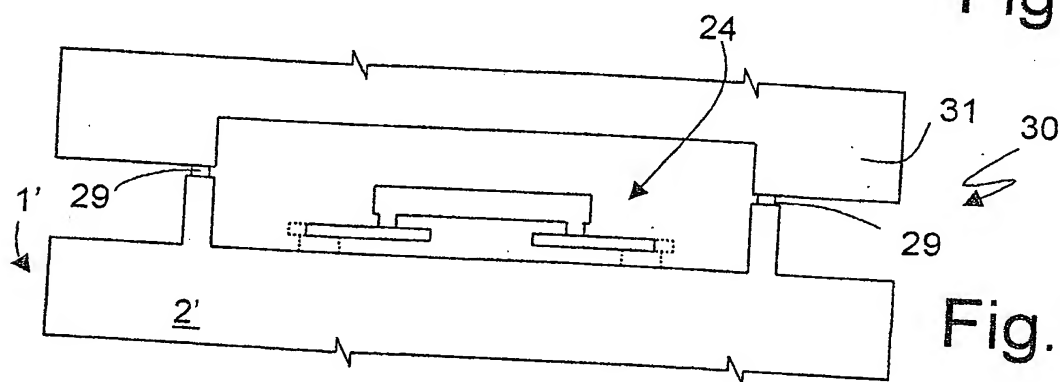


Fig. 13

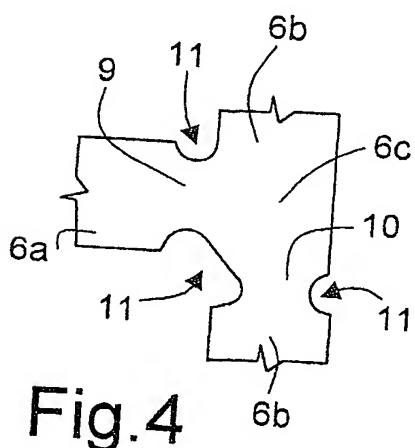


Fig. 4

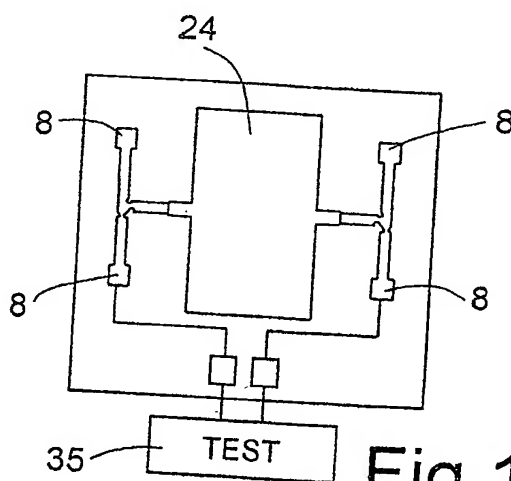


Fig. 15

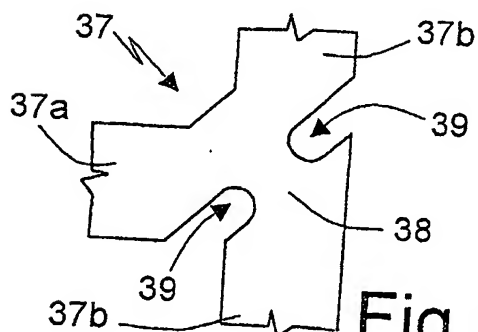


Fig. 16

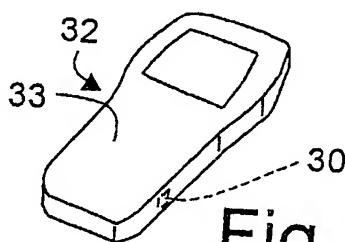


Fig. 14

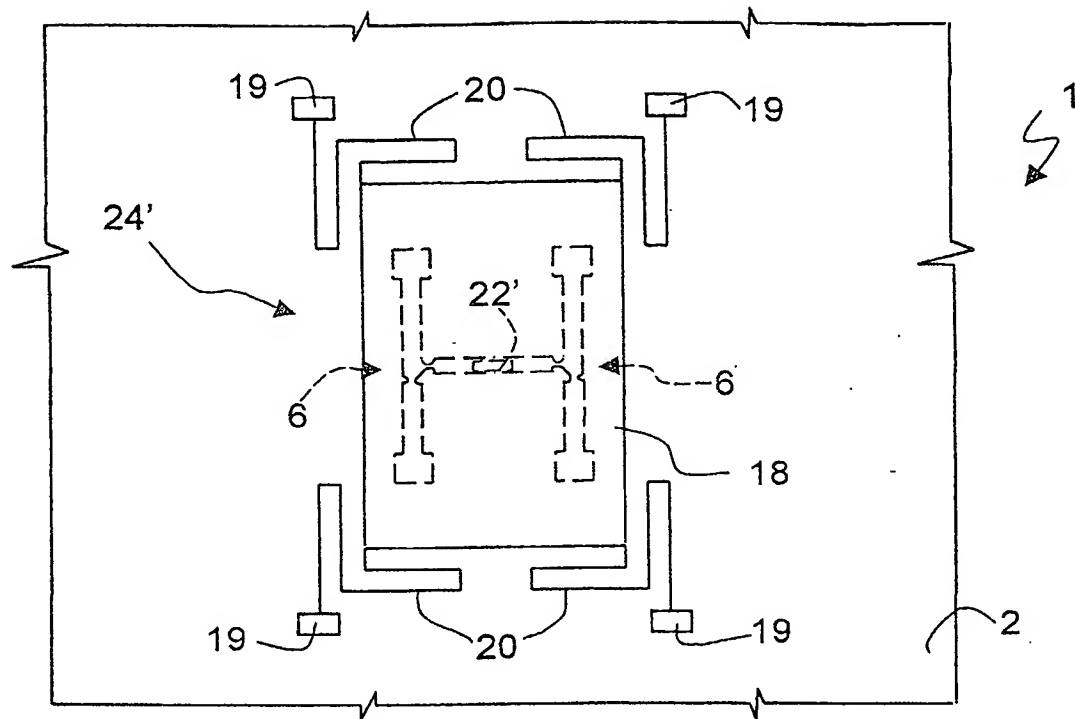


Fig. 17

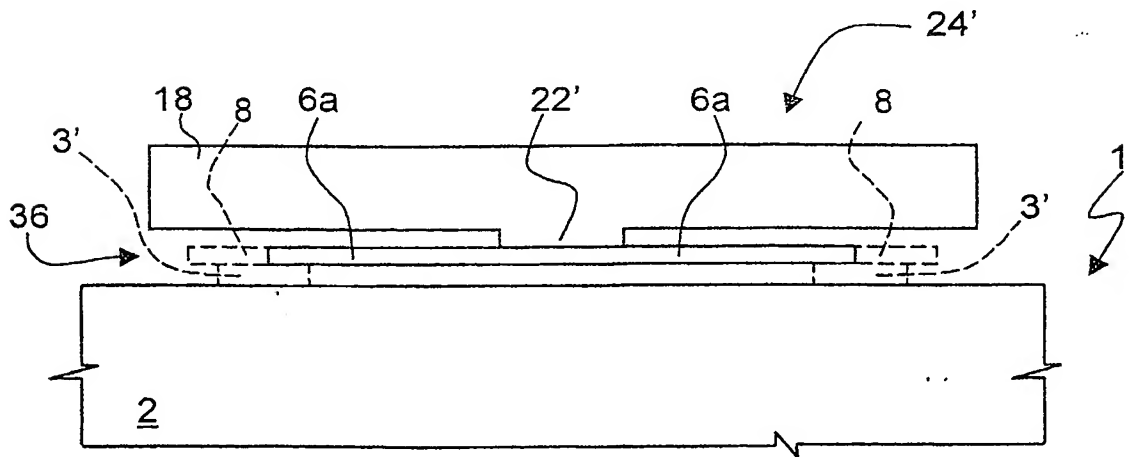


Fig. 18

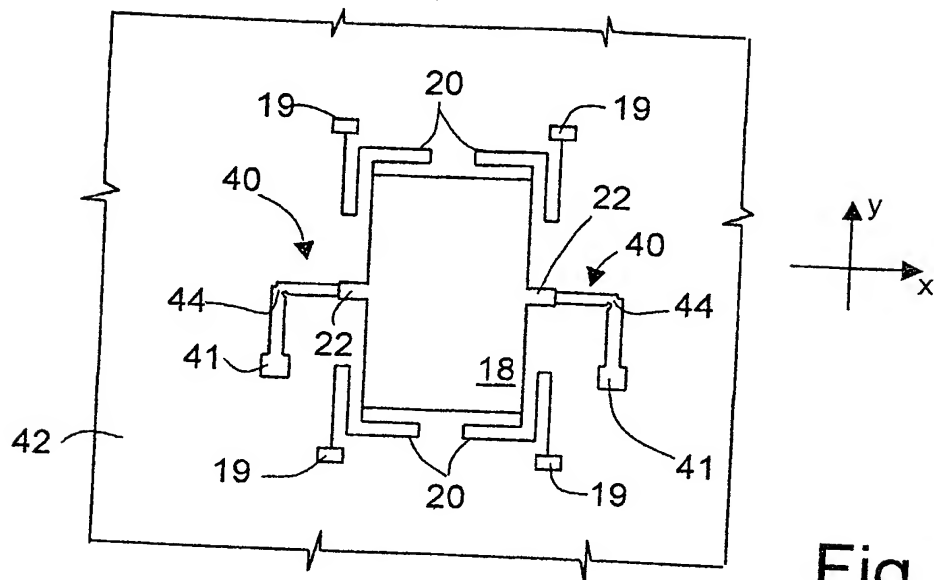


Fig. 19

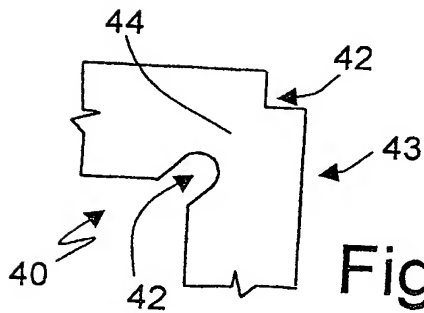


Fig. 20

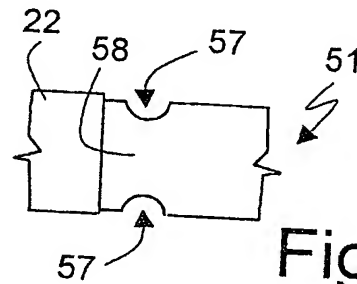


Fig. 22

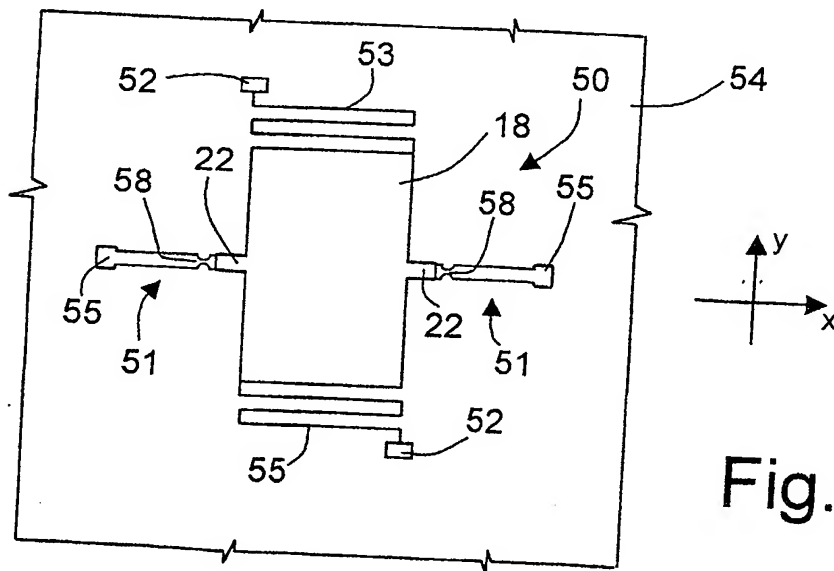
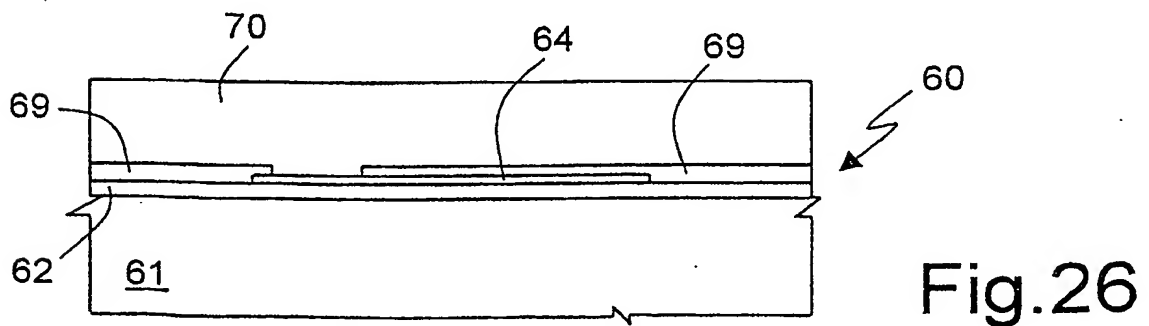
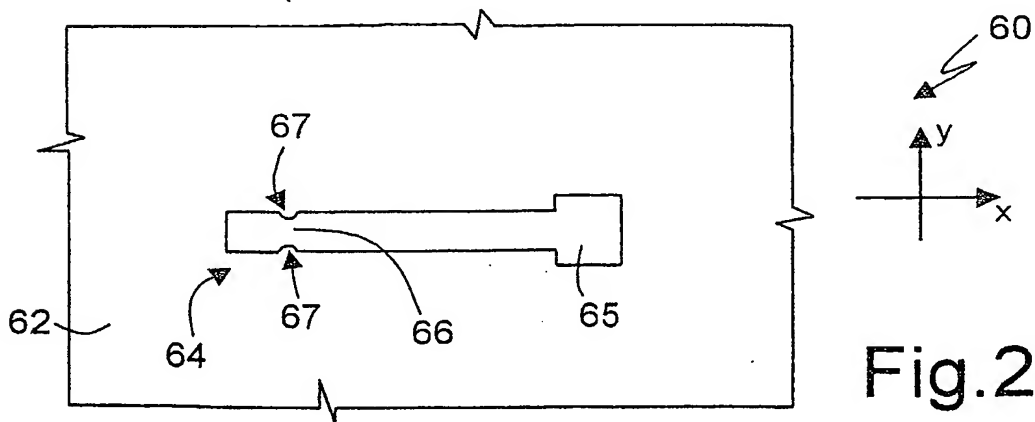
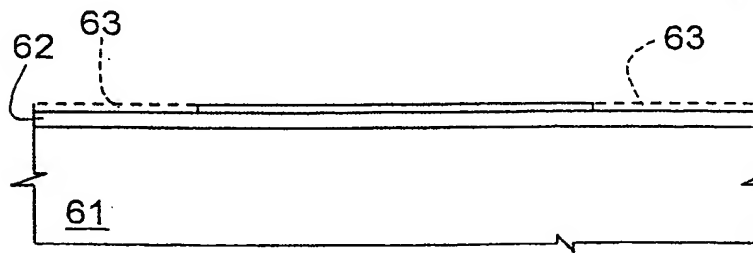
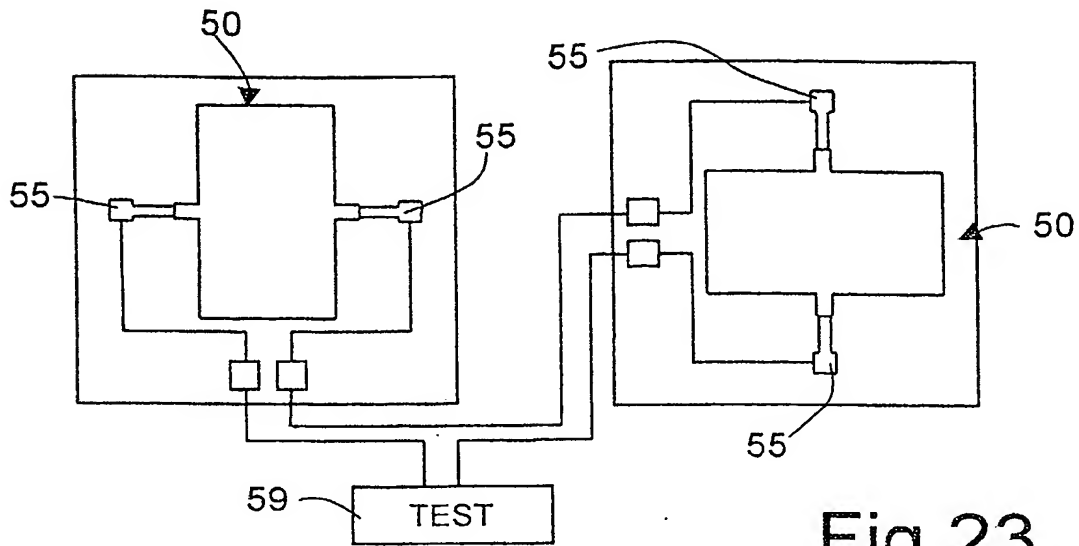


Fig. 21



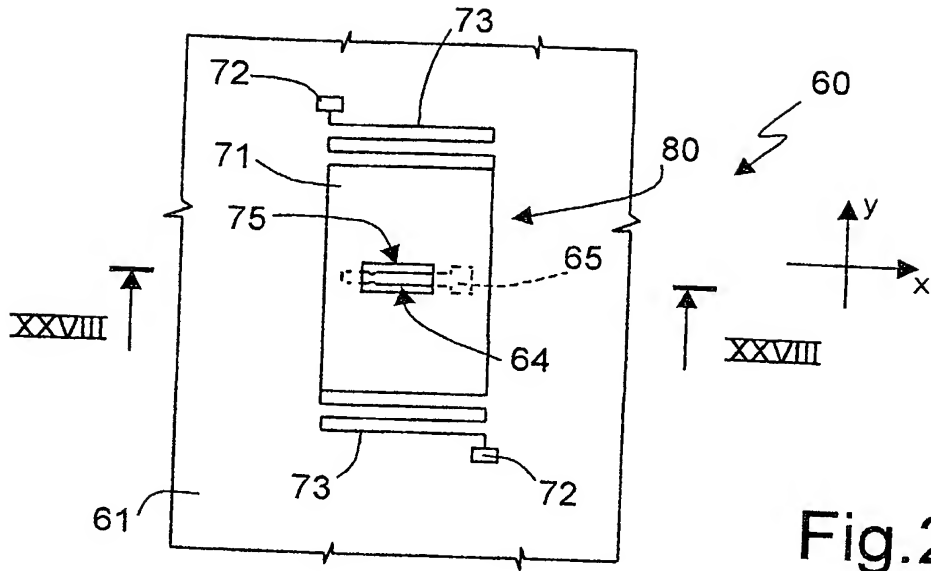


Fig.27

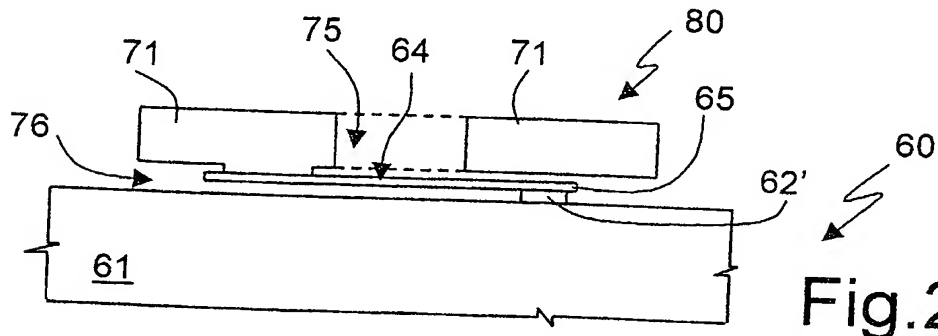


Fig.28

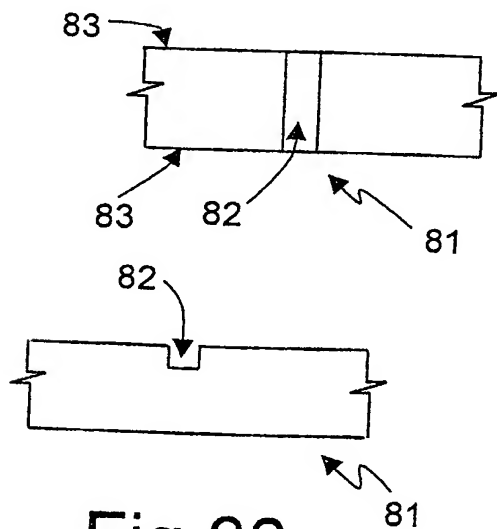


Fig.29

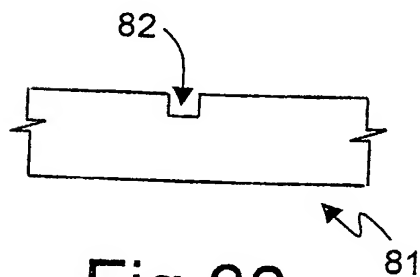


Fig.30

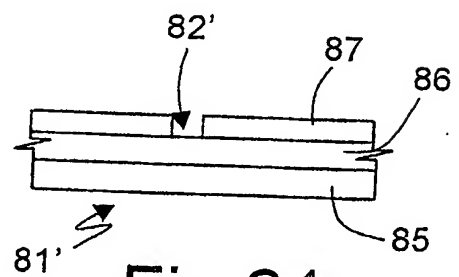


Fig.31